



หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่

ชีววิทยา

เล่ม ๒

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

๔





หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชีววิทยา

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

จัดทำเป็นฉบับ e-book ครั้งที่ ๒ พ.ศ. ๒๕๖๖

มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียนฉบับ e-book นี้ขึ้น โดยมีเนื้อหาเช่นเดียวกับหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒ ฉบับสิ่งพิมพ์ ที่จัดทำตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ ทุกประการ เพื่อให้นักเรียน ครู ผู้ปกครอง นักวิชาการ และ ผู้สนใจทั่วไปเข้าถึงได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว รวมทั้งสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับจุดประสงค์ต่าง ๆ ทั้งนี้ สสวท. ขอสงวนสิทธิ์ในหนังสือเรียนฉบับ e-book นี้ตามกฎหมายลิขสิทธิ์ ห้ามผู้ใดทำซ้ำ คัดลอก ดัดแปลง เลียนแบบ จำหน่าย หรือ เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

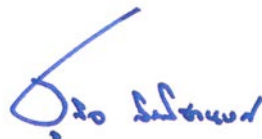
สามารถเข้าถึงสื่อดิจิทัลต่าง ๆ ของ สสวท. ได้ที่ <http://www.ipst.ac.th/ebook-resource/>

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษา ขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อต้องการพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้อยู่กับกระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไปโรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒ นี้ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์ชีวภาพ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา เล่ม ๑ - เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ - ๖ แล้วจะสามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์ชีวภาพได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา เล่ม ๒ นี้ มีเนื้อหาที่จำเป็นที่ต้องเรียนประกอบด้วยเรื่องโครโมโซมและสารพันธุกรรม การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการศึกษาค้นคว้าในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น แพทย์ ทันตแพทย์ สัตวแพทย์ เทคโนโลยีชีวภาพ เทคนิคการแพทย์ วิศวกรรม สถาปัตยกรรม วัสดุศาสตร์ อุตุนิยมวิทยา ธรณีวิทยา ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญรวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเอง มีแบบตรวจสอบความรู้ความเข้าใจก่อนเรียน มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วยในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒินักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบัน และสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา เล่ม ๒ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง



(ศาสตราจารย์ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้นักเรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญ และเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ รวมทั้งยังมีสื่อที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน โดยสามารถเชื่อมต่อไปยังหน้าเว็บไซต์รายการสื่อได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่างๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน จะช่วยให้นักเรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่างๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน มีดังนี้

1  คำถามสำคัญ คำถามประจำบทที่ผู้เรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งผู้เรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว	2  จุดประสงค์การเรียนรู้ เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งผู้เรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ
3  ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน ชุดคำถามที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน ซึ่งผู้เรียนควรตอบคำถามให้ถูกต้องทั้งหมด หากไม่ถูกต้องควรทบทวนเนื้อหาในนั้นก่อนเริ่มการเรียนรู้เรื่องใหม่ในแต่ละบท	4  ชวนคิด คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้ผู้เรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา
5  ตรวจสอบความเข้าใจ คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งผู้เรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง	6  ลองทำดู การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งผู้เรียนสามารถลงมือปฏิบัติด้วยตนเองนอกเวลาเรียนได้

7	กิจกรรม  การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่นๆ ซึ่งผู้เรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง	8	ตัวอย่าง  การแสดงแนวทางการตอบคำถามหรือการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งผู้เรียนสามารถศึกษาเพื่อเพิ่มความเข้าใจในเนื้อหาบทเรียนมากขึ้น
9	กิจกรรมเสนอแนะ  การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งอาจเป็นกิจกรรมที่ลงมือปฏิบัติในห้องเรียนหรือนอกเวลาเรียนได้	10	ความรู้เพิ่มเติม  ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้ให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล
11	รู้หรือไม่  ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน	12	การเชื่อมโยงความรู้  เนื้อหาที่แสดงความเชื่อมโยงของความรู้ในบทเรียนกับความรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ความรู้ในชีวิตประจำวัน หรือความรู้ที่ใช้ในอาชีพต่าง ๆ
13	กรณีศึกษา  ตัวอย่างข้อมูลจากการศึกษาหรืองานวิจัยที่สอดคล้องกับความรู้ในบทเรียน เพื่อให้ นักเรียนศึกษาวิเคราะห์จากกรณีจริง	14	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน  การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด
15	แบบฝึกหัดท้ายบท  คำถามท้ายบทเรียนสำหรับผู้เรียนตรวจสอบความเข้าใจหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว ซึ่งผู้เรียนสามารถใช้เป็นข้อมูลในการทบทวนเนื้อหาที่ยังไม่เข้าใจได้	16	สื่อ AR (Augmented Reality)  สื่อเสริมการเรียนรู้ที่ใช้เทคโนโลยี AR ผู้เรียนสามารถดาวน์โหลดเพื่อใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน "AR วิทย์ ม.ปลาย"

4

โครโมโซม และสารพันธุกรรม

4	โครโมโซมและสารพันธุกรรม	1
4.1	โครโมโซม	4
4.2	สารพันธุกรรม	9
4.3	สมบัติของสารพันธุกรรม	19
4.4	มิวเทชัน	35
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	47
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4	50

5

การถ่ายทอดลักษณะ ทางพันธุกรรม

5	การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม	55
5.1	การศึกษาพันธุกรรมของเมนเดล	58
5.2	ลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล	82
5.3	ยีนบนโครโมโซมเดียวกัน	101
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	105
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 5	106

6

เทคโนโลยี ทางดีเอ็นเอ

6	เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ	113
6.1	พันธุวิศวกรรมและการโคลนนิ่ง	116
6.2	การหาขนาดของ DNA และการหาลำดับนิวคลีโอไทด์	128
6.3	การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ	133
6.4	เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอกับความปลอดภัยทางชีวภาพ และชีวจริยธรรม	152
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	155
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 6	157

สารบัญ	บทที่ 4 - 7		
บทที่	เนื้อหา	หน้า	
7 วิวัฒนาการ	7 วิวัฒนาการ	163	
	7.1 หลักฐานและข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต	166	
	7.2 แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต	178	
	7.3 พันธุศาสตร์ประชากร	187	
	7.4 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีล	192	
	7.5 กำเนิดสปีชีส์	200	
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	210	
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 7	211	
ภาคผนวก	ภาคผนวก	217	
	คำศัพท์	218	
	บรรณานุกรม	225	
	ที่มาของรูป	228	
	คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียน	230	

บทที่

| โครโมโซมและสารพันธุกรรม

4

ipst.me/7641

โครโมโซมของกบนา



โครโมโซมของมนุษย์

โครโมโซมของกบนา (*Hoplobatrachus rugulosus*) มีจำนวน 26 โครโมโซมซึ่งมีขนาดที่แตกต่างกัน แต่ละโครโมโซมประกอบด้วย 2 โครมาทิดเชื่อมติดกันที่ตำแหน่งเซนโทรเมียร์ เมื่อเทียบจำนวนโครโมโซมของกบนากับจำนวนโครโมโซมของสิ่งมีชีวิตสปีชีส์อื่น เช่น มนุษย์มี 46 โครโมโซม พบว่ามีจำนวนโครโมโซมที่ต่างกัน สิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันจะมีจำนวนโครโมโซมต่างกันเสมอหรือไม่ และถ้าจัดเรียงโครโมโซมของกบนาหรือของมนุษย์โดยพิจารณาจากขนาดของโครโมโซมและตำแหน่งของเซนโทรเมียร์ จะจัดเรียงได้อย่างไร



คำถามสำคัญ

1. DNA ยีน และโครโมโซมมีความสัมพันธ์กันอย่างไร
2. การจำลองดีเอ็นเอมีความสำคัญอย่างไร
3. DNA เกี่ยวข้องกับลักษณะทางพันธุกรรมอย่างไร
4. มิวเทชันทำให้สิ่งมีชีวิตมีลักษณะต่างไปจากเดิมได้อย่างไรและส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอย่างไร



จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูลและอธิบายโครงสร้างและองค์ประกอบของโครโมโซม และหลักการจำแนกโครโมโซม
2. อภิปรายเกี่ยวกับการค้นพบสารพันธุกรรมโดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์
3. อธิบายโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของ DNA
4. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับ DNA แต่ละโมเลกุลมีจำนวนและลำดับนิวคลีโอไทด์แตกต่างกัน
5. อธิบายและสรุปความสัมพันธ์ในเชิงโครงสร้างระหว่างยีน DNA และโครโมโซม
6. อธิบายสมบัติและหน้าที่ของสารพันธุกรรม
7. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และสรุปกระบวนการจำลองดีเอ็นเอ
8. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และระบุขั้นตอนในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน
9. อธิบายหน้าที่ของ DNA และ RNA แต่ละชนิดในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน
10. เปรียบเทียบการสังเคราะห์โปรตีนของโพรแคริโอตและยูแคริโอต
11. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายสาเหตุและผลของการเกิดมิวเทชันระดับยีนและระดับโครโมโซม
12. ยกตัวอย่างโรคและกลุ่มอาการที่เป็นผลของการเกิดมิวเทชันระดับยีนและระดับโครโมโซม



ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (✓) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

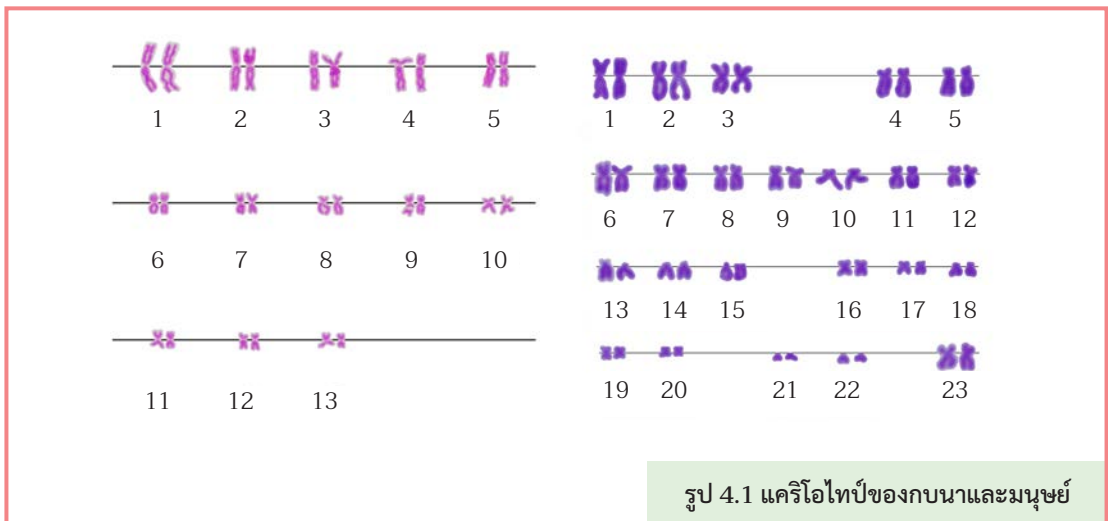
- ☐ 1. โครโมโซมของเซลล์ยูแคริโอตประกอบด้วย DNA และโปรตีน
- ☐ 2. ซิสเตอร์โครมาทิดยึดติดกันที่ตำแหน่งเซนโทรเมียร์
- ☐ 3. สิ่งมีชีวิตที่มีโครโมโซมของเซลล์ร่างกายมีลักษณะเหมือนกัน 2 ชุด เรียกว่า ดิพลอยด์
- ☐ 4. ฮอมอโลกัสโครโมโซมแยกออกจากกันในระยะแอนาเฟส II
- ☐ 5. กรดนิวคลีอิกทำหน้าที่เก็บและถ่ายทอดข้อมูลทางพันธุกรรม
- ☐ 6. นิวคลีโอไทด์ประกอบด้วย น้ำตาลเพนโทส ไนโตรจีนัสเบส และหมู่ฟอสเฟต
- ☐ 7. นิวคลีโอไทด์เชื่อมต่อกันด้วยพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์เป็นสายยาว เรียกว่า พอลินิวคลีโอไทด์
- ☐ 8. DNA ประกอบด้วยพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สาย
- ☐ 9. การเปลี่ยนแปลงของยีนหรือโครโมโซมไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต

4.1 โครโมโซม

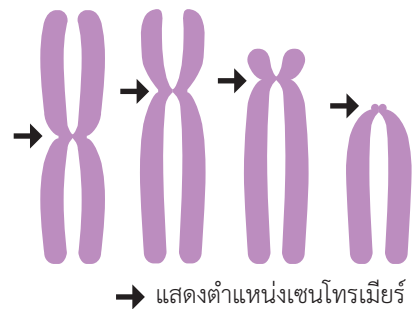
จากที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการแบ่งเซลล์มาแล้วนั้น เซลล์ยูแคริโอตในระยะอินเตอร์เฟสจะเห็นโครมาตินอยู่ในนิวเคลียส เมื่อมีการแบ่งนิวเคลียสในระยะโพรเฟส โครมาตินจะมีการขดตัวทำให้นหนาขึ้นและสั้นลง เรียกว่า โครโมโซม

4.1.1 รูปร่าง ลักษณะ และจำนวนโครโมโซม

จากภาพนำบท เมื่อนำโครโมโซมมาจัดทำแคริโอไทป์ (karyotype) โดยจัดเรียงตามขนาดของโครโมโซมและตำแหน่งของเซนโทรเมียร์ จะจัดเรียงโครโมโซมของกบนาได้ 13 คู่ และโครโมโซมของมนุษย์ได้ 23 คู่ จะสังเกตได้ว่า โครโมโซมมีรูปร่างลักษณะเหมือนกันเป็นคู่ เรียกโครโมโซมแต่ละคู่นี้ว่า **ฮอมอโลกัสโครโมโซม** (homologous chromosome) ดังรูป 4.1



การจำแนกโครโมโซมสามารถจำแนกได้ตามขนาดของโครโมโซมและตำแหน่งของเซนโทรเมียร์ เมื่อพิจารณาตำแหน่งเซนโทรเมียร์ ดังรูป 4.2 พบว่าสิ่งมีชีวิตสปีชีส์หนึ่งอาจมีโครโมโซมที่มีรูปร่างแบบเดียวหรือหลายแบบก็ได้



รูป 4.2 โครโมโซมแบบต่างๆ

สิ่งมีชีวิตที่เป็นดิพลอยด์จะมีโครโมโซมในเซลล์ร่างกายเหมือนกัน 2 ชุด (2n) โดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตแต่ละสปีชีส์มีจำนวนโครโมโซมคงที่ ดังแสดงในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 จำนวนโครโมโซมในเซลล์ร่างกายของสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ต่าง ๆ

สัตว์	จำนวนโครโมโซม (2n)	พืช	จำนวนโครโมโซม (2n)
สุนัข (<i>Canis familiaris</i>)	78	ฝ้าย (<i>Gossypium hirsutum</i>)	52
ไก่ (<i>Gallus domesticus</i>)	78	ยาสูบ (<i>Nicotiana tabacum</i>)	48
ม้า (<i>Equus calibus</i>)	64	มันฝรั่ง (<i>Solanum tuberosum</i>)	48
ลา (<i>Equus asinus</i>)	62	สน (<i>Pinus ponderosa</i>)	24
มนุษย์ (<i>Homo sapiens</i>)	46	มะเขือเทศ (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	24
หนู (<i>Mus musculus</i>)	40	ข้าว (<i>Oryza sativa</i>)	24
แมว (<i>Felis domesticus</i>)	38	แตงโม (<i>Citrullus vulgaris</i>)	22
ผึ้ง (<i>Apis mellifera</i>)	32	ข้าวโพด (<i>Zea mays</i>)	20
กบ (<i>Rana pipiens</i>)	26	กะหล่ำปลี (<i>Brassica oleracea</i>)	18
แมลงวัน (<i>Musca domestica</i>)	12	มะละกอ (<i>Carica papaya</i>)	18
แมลงหวี่ (<i>Drosophila melanogaster</i>)	8	หอม (<i>Allium cepa</i>)	16
ยุงก้นปล่อง (<i>Anopheles dirus</i>)	6	ถั่วลันเตา (<i>Pisum sativum</i>)	14

? นักวิทยาศาสตร์สามารถใช้จำนวนโครโมโซมในการระบุสปีชีส์ของสิ่งมีชีวิตได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

? ตัวอย่างสิ่งมีชีวิตในตาราง 4.1 มีจำนวนโครโมโซมที่เป็นเลขคู่เพราะเหตุใด

จากตาราง 4.1 จะเห็นว่า สิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันอาจมีจำนวนโครโมโซมเท่ากันได้ จึงไม่สามารถใช้จำนวนโครโมโซมในการระบุสปีชีส์ของสิ่งมีชีวิตได้ อย่างไรก็ตามจำนวนโครโมโซมของสิ่งมีชีวิตสปีชีส์เดียวกันจะมีจำนวนคงที่และเท่ากันเสมอ เมื่อศึกษาลักษณะของโครโมโซมของสิ่งมีชีวิตแต่ละสปีชีส์ จะพบว่า มีโครโมโซมที่มีรูปร่างลักษณะแตกต่างกัน



ความรู้เพิ่มเติม

แคริโอไทป์เป็นการศึกษาจำนวนและลักษณะรูปร่างของโครโมโซมในนิวเคลียสของเซลล์ยูแคริโอต แล้วนำมาจัดเรียงกันเป็นกลุ่มตามขนาดโครโมโซมและตำแหน่งของเซนโทรเมียร์ โดยนิยมใช้โครโมโซมในระยะเมทาเฟส เนื่องจากโครโมโซมมีการขดตัวจึงมีขนาดใหญ่ขึ้นและสั้นลง จึงเป็นระยะที่มองเห็นโครโมโซมชัดที่สุด

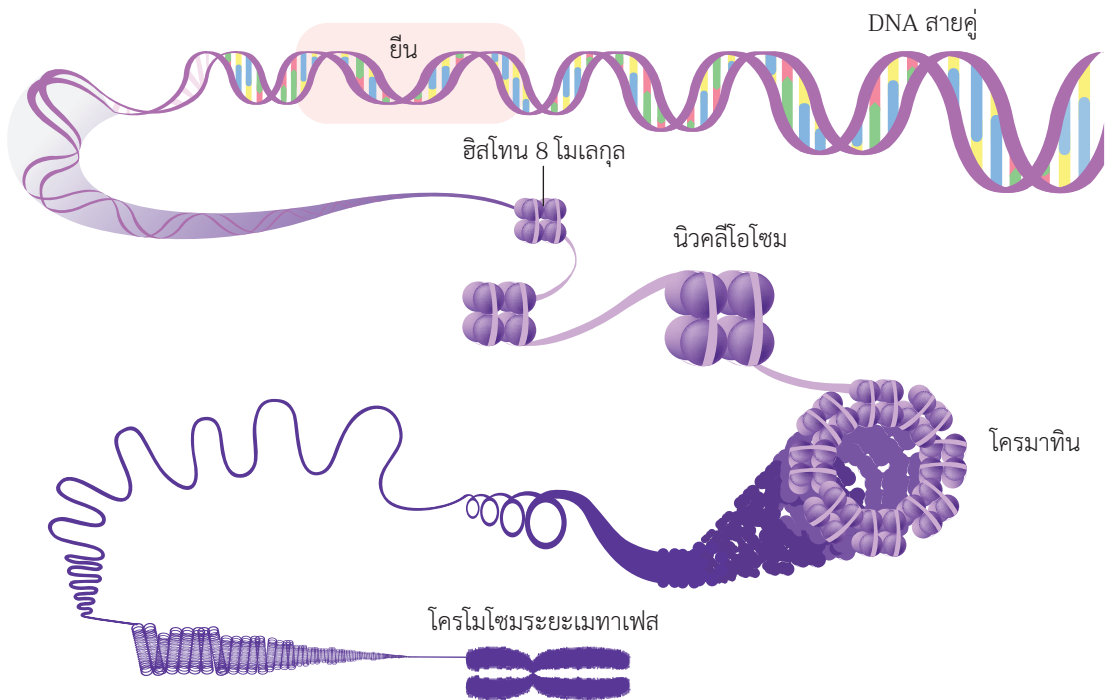
ในทางการแพทย์มีการใช้เซลล์ชนิดต่าง ๆ สำหรับวิเคราะห์โครโมโซม เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ กัน ดังนี้

- ลิมโฟไซด์ เพื่อศึกษาลักษณะ ขนาด และจำนวนของโครโมโซมเพื่อนำไปจัดเรียงแคริโอไทป์
- เซลล์ไขกระดูก เพื่อตรวจความผิดปกติของโครโมโซมในผู้ป่วยโรคมะเร็งเม็ดเลือดขาว
- เซลล์ของพืชที่เพาะในน้ำคร่ำ เพื่อศึกษาความผิดปกติทางพันธุกรรม

4.1.2 ส่วนประกอบของโครโมโซม

โครโมโซมของยูแคริโอตประกอบด้วย DNA ซึ่งนับเป็น 1 ใน 3 ส่วนของโครโมโซม และอีก 2 ใน 3 เป็นโปรตีนซึ่งส่วนใหญ่เป็นฮิสโตน (histone) และบางส่วนเป็นโปรตีนที่ไม่ใช่ฮิสโตนหรือนอนฮิสโตนโปรตีน (non-histone protein) จากการศึกษาพบว่าฮิสโตนเป็นโปรตีนที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดอะมิโนที่มีประจุบวก เช่น ไลซีนและอาร์จินีน ทำให้มีสมบัติในการจับกับ DNA ซึ่งมีประจุเป็นลบได้ดี

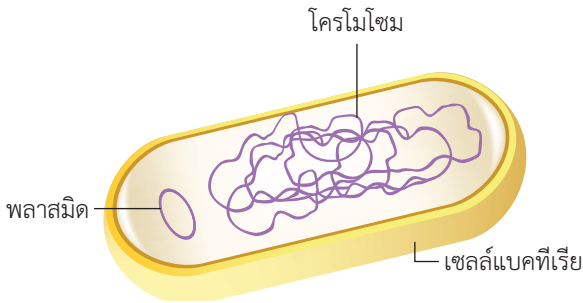
DNA ที่เป็นเส้น (linear DNA) สายคู่ 1 เส้นพันรอบกลุ่มฮิสโตน 8 โมเลกุล ทำให้มีรูปร่างคล้ายลูกปัด เรียกโครงสร้างนี้ว่า **นิวคลีโอโซม** (nucleosome) และนิวคลีโอโซมม้วนพันกันเป็นโครมาทิน โครมาทินในระยะที่มีการแบ่งนิวเคลียสจะมีการขดตัวทำให้หนาขึ้นและสั้นลงมองเห็นเป็นโครโมโซม ดังรูป 4.3



รูป 4.3 ส่วนประกอบโครโมโซมของยูแคริโอต

สาย DNA บางช่วงทำหน้าที่กำหนดลักษณะทางพันธุกรรม ซึ่งเรียก DNA ช่วงนั้นว่า **ยีน** (gene) ในเซลล์ยูแคริโอตนอกจากพบ DNA ในนิวเคลียสแล้ว ยังพบ DNA ในไมโทคอนเดรียและคลอโรพลาสต์อีกด้วย

โครโมโซมของเซลล์โพรแคริโอต เช่น แบคทีเรีย มีจำนวนโครโมโซมชุดเดียว และมีโครโมโซมเป็นวงอยู่ในไซโทพลาซึม โครโมโซมของแบคทีเรียประกอบด้วย DNA สายคู่ที่เป็นวง 1 โมเลกุล และไม่มีฮิสโตนเป็นองค์ประกอบ แต่มีโปรตีนชนิดอื่นที่คล้ายฮิสโตนช่วยในการขดตัวแน่น นอกจากนี้ในแบคทีเรียบางชนิดยังมี **พลาสมิด** (plasmid) ซึ่งเป็น DNA สายคู่ที่เป็นวงขนาดเล็กอยู่นอกโครโมโซมของแบคทีเรียอีกด้วย ดังรูป 4.4



รูป 4.4 โครโมโซมและพลาสมิดภายในเซลล์แบคทีเรีย

สารพันธุกรรมทั้งหมดของโครโมโซม 1 ชุด ของสิ่งมีชีวิตหนึ่งๆ เรียกว่า **จีโนม** (genome) จากการศึกษาสิ่งมีชีวิตบางสปีชีส์พบว่า สิ่งมีชีวิตแต่ละสปีชีส์มีขนาดของจีโนม จำนวนโครโมโซม และจำนวนยีนแตกต่างกัน ดังตาราง 4.2 มีการศึกษาจีโนมเพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งของยีน ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน และหน้าที่ของยีนเพื่อนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ



รู้หรือไม่

แต่เดิมจีโนมหมายถึง ข้อมูลทางพันธุกรรมทั้งหมดของสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่ง โดยใช้กับไวรัสและโพรแคริโอต ส่วนในยูแคริโอตนั้น จีโนมหมายถึง ข้อมูลทางพันธุกรรมของเซลล์แฮพลอยด์ แต่ในปัจจุบัน จีโนมอาจหมายถึง สารพันธุกรรมทั้งหมดภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ซึ่งประกอบด้วยสารพันธุกรรมในนิวเคลียส ไมโทคอนเดรีย และคลอโรพลาสต์

ตาราง 4.2 ขนาดของจีโนม จำนวนโครโมโซม และจำนวนยีนของสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ต่างๆ

สิ่งมีชีวิต	ขนาดของจีโนม โดยประมาณ (ล้านคู่เบส)	จำนวน โครโมโซม	จำนวนยีน โดย ประมาณ
มนุษย์ (<i>Homo sapiens</i>)	3,000	46	25,000
หนู (<i>Mus musculus</i>)	2,900	40	25,000
ข้าว (<i>Oryza sativa</i> L. ssp. <i>japonica</i>)	389	24	37,000
อะราบิโดพซิส (<i>Arabidopsis thaliana</i>)	135	10	25,000
ยีสต์ (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	12	32	6,000
แบคทีเรีย (<i>Escherichia coli</i>)	4.6	1	3,200



ยูแคริโอตเซลล์เดียวและหลายเซลล์มีขนาดของจีโนมและจำนวนยีนที่แตกต่างกันหรือไม่อย่างไร



เพราะเหตุใดมนุษย์จึงมีจำนวนยีนมากกว่ายีสต์และแบคทีเรีย



ความรู้เพิ่มเติม



Arabidopsis thaliana เป็นพืชต้นแบบในการศึกษาพันธุกรรมพืช เนื่องจากมีลักษณะเหมาะสมในการศึกษา คือ เป็นพืชดอกขนาดเล็ก เจริญเติบโตเร็ว วัฏจักรชีวิตสั้น จีโนมมีขนาดเล็กประมาณ 135 ล้านคู่เบส และทราบลำดับนิวคลีโอไทด์ของจีโนมแล้ว

4.2 สารพันธุกรรม

4.2.1 การค้นพบสารพันธุกรรม

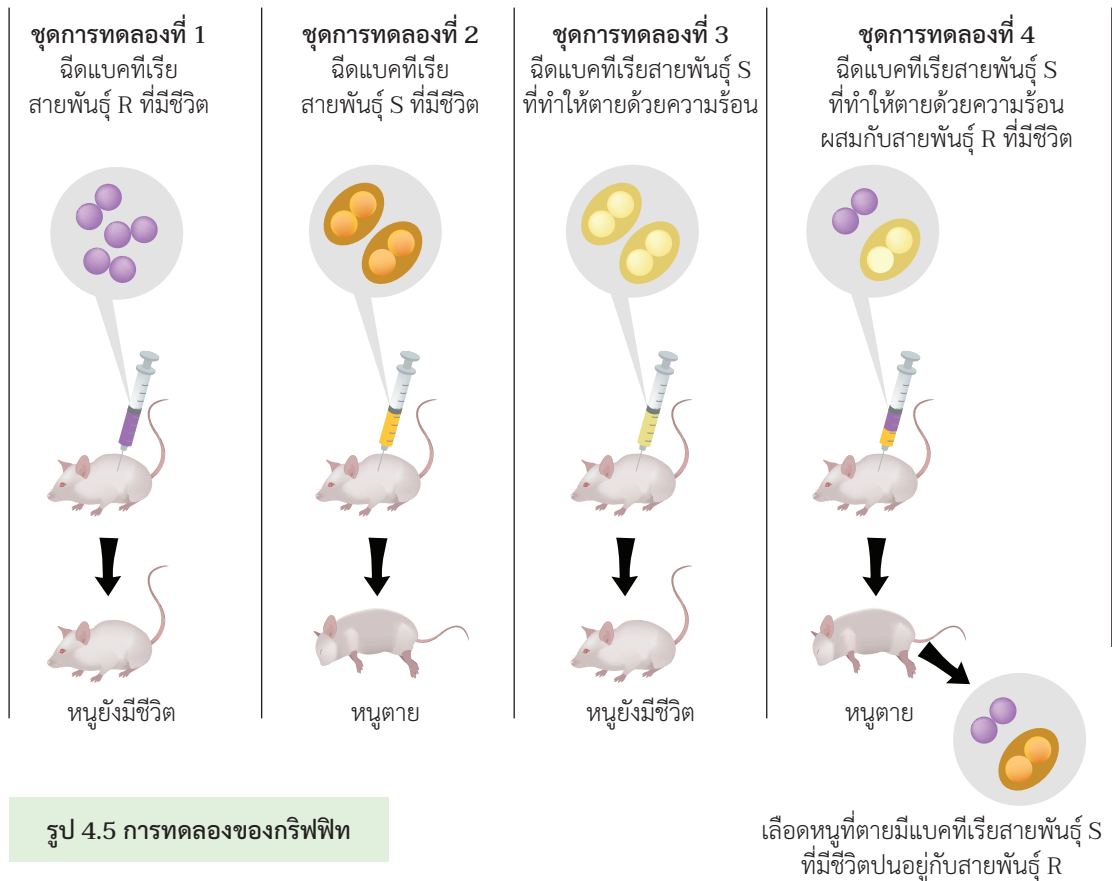
นักวิทยาศาสตร์ได้ใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ศึกษาเกี่ยวกับสารพันธุกรรม ดังนี้

ในปี พ.ศ. 2412 ฟรีดริช มีเชอร์ (Friedrich Miescher) แพทย์ชาวสวิส ได้ศึกษาส่วนประกอบในนิวเคลียสของเซลล์เม็ดเลือดขาวที่ติดมากับผ้าพันแผล โดยนำมาย่อยเอาโปรตีนออกด้วยเอนไซม์เพปซิน พบว่าเอนไซม์นี้ไม่สามารถย่อยสลายสารชนิดหนึ่งที่อยู่ภายในนิวเคลียสได้ เมื่อนำสารนี้มาวิเคราะห์ทางเคมีก็พบว่า มีธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ ต่อมาเป็นผู้ค้นพบว่าสารนี้มีสมบัติเป็นกรดจึงเรียกว่า กรดนิวคลีอิก

ในปี พ.ศ. 2457 มีการพัฒนาสีฟุคซิน (fuchsin) ที่สามารถย้อมติด DNA ได้เป็นสีแดง และเมื่อนำไปย้อมเซลล์ พบว่าสีจะติดที่นิวเคลียสและรวมตัวหนาแน่นที่โครโมโซม จึงสรุปว่า DNA อยู่ที่โครโมโซม

การค้นพบว่า DNA อยู่ที่โครโมโซม ทำให้นักวิทยาศาสตร์คิดว่า DNA เป็นสารพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตต่างๆ อย่างไรก็ตามยังมีนักวิทยาศาสตร์ที่คิดว่า โปรตีนน่าจะเป็นสารพันธุกรรม เนื่องจากโปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโน 20 ชนิด การเรียงลำดับกรดอะมิโนแบบต่างๆ น่าจะทำให้มีโปรตีนชนิดต่างๆ มากพอที่จะควบคุมลักษณะของสิ่งมีชีวิตอย่างครบถ้วน นักวิทยาศาสตร์พิสูจน์ได้อย่างไรว่า DNA หรือโปรตีนเป็นสารพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะของสิ่งมีชีวิต

ในปี พ.ศ. 2471 เฟรเดอริก กริฟฟิท (Frederick Griffith) แพทย์ชาวอังกฤษ ทำการทดลองโดยฉีดแบคทีเรีย *Streptococcus pneumoniae* ที่ทำให้เกิดโรคปอดบวมเข้าไปในหนู แบคทีเรียที่ฉีดเข้าไปนี้มี 2 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ R เป็นสายพันธุ์ที่มีผิวขรุขระ (rough) เพราะไม่มีแคปซูล (capsule) ห่อหุ้มเซลล์ ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ไม่ทำให้เกิดโรคปอดบวม กับสายพันธุ์ S เป็นสายพันธุ์ที่มีผิวเรียบ (smooth) เพราะมีแคปซูลห่อหุ้มเซลล์ ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ทำให้เกิดโรคปอดบวมรุนแรงทำให้หนูตายได้ ดังรูป 4.5



- ?** ถ้าทำการทดลองเฉพาะชุดการทดลองที่ 3 และ 4 โดยที่ไม่มีชุดการทดลองที่ 1 และ 2 จะสามารถสรุปผลได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
- ?** ถ้านำเลือดของหนูจากชุดการทดลองที่ 2 และ 3 มาตรวจ จะพบแบคทีเรียหรือไม่ อย่างไร
- ?** ในชุดการทดลองที่ 4 พบทั้งแบคทีเรียสายพันธุ์ S และสายพันธุ์ R ในเลือดของหนูที่ตาย แบคทีเรียสายพันธุ์ใดที่ทำให้หนูตาย เพราะเหตุใด